

J. Agron. Indonesia 37 (2) : 101 – 106 (2009)

Penapisan Varietas Padi Toleran Salinitas pada Lahan Rawa di Kabupaten Pesisir Selatan

The Screening of Salt-Tolerant Rice Variety in Swamp Areas of Pesisir Selatan District

M. Zulman Harja Utama^{1*}, Widodo Haryoko¹, Rafli Munir² dan Sunadi³

¹ Jurusan Budidaya Pertanian, Faperta, Universitas Tamansiswa, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

² BPTP Sukarami Sumatera Barat, Indonesia

³ Jurusan Budidaya Pertanian APPERTA Sumatera Barat, Indonesia

Diterima 2 Oktober 2008/Disetujui 11 Maret 2009

ABSTRACT

The experiment was aimed to determine the most suitable method for selection of salt-tolerant, and to investigate the agronomic characteristics of salt-tolerant rice variety. Two experiments were conducted to study the tolerance of 18 varieties to salt: 1) in situ screening of salt-tolerant varieties using completely randomized design, and 2) screening of salt-tolerant varieties using factorial experiment (varieties and salinity) with completely randomized design. The experiment showed that screening of rice variety that tolerant and sensitive to salt stress can be determined by comparing root dry weights in salt stressed condition and in unstressed condition, and in term of agronomical aspect, salt stress-tolerant rice showed good growth when planted in the saline field.

Key words: Screening, rice, swamp areas and salt stress

PENDAHULUAN

Padi merupakan tanaman pangan penting kedua di dunia, yang digunakan sebagai sumber bahan pangan setelah gandum, dan diperkirakan kebutuhannya akan meningkat 70% pada dekade mendatang (IRRI, 1995; Yayock, 1997). Peningkatan produktivitas padi telah diupayakan di Indonesia sejak tahun 1970-an, dalam rangka meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan masyarakat serta meningkatkan ketahanan pangan nasional (Amang dan Sawit, 1999; Djafar, 2002).

Peningkatan produksi padi ke depan, akan banyak menghadapi tantangan yang semakin komplek, berkaitan dengan cekaman unsur hara, iklim, gulma, hama dan penyakit (Yayock *et al.*, 1997; Jentschke dan Godbold, 2000; Djafar, 2002; Sunadi, 2008) tetapi permasalahan yang tidak kalah penting adalah kurangnya varietas toleran cekaman lingkungan, terutama cekaman kadar garam yang tinggi.

Salah satu jenis lahan yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan produksi padi adalah lahan rawa, di antaranya yang terdapat di kabupaten Pesisir Selatan Sumatera Barat. Lahan rawa pantai tersebut dipengaruhi oleh pasang surut air laut atau intrusi air laut. Luas lahan rawa di Kabupapaten Pesisir Selatan mencapai 42000 ha, dari lahan tersebut hanya

termanfaatkan seluas 3251 ha atau hanya 8% saja (Anonim, 2004). Lahan tersebut tersebar pada 11 kecamatan dengan rincian sebagai berikut: 1). Lunang Silaut (221 ha); 2). Baso Ampek Balai Tapan (162 ha); 3). Pancung Soal (54 ha); 4). Linggo Sri Baganti (475 ha); 5). Ranah Pesisir (408 ha); 6). Lengayang (950 ha); 7). Sutra (150 ha); 8) Batang Kapas (22 ha); 9). IV Jurai (637 ha); 10). Bayang (129 ha), dan 11). Koto XI Tarusan (43 ha).

Pemanfaatan lahan di tersebut, masih sangat terbatas akibat keterbatasan teknologi dan varietas (Sabiham dan Ismangun, 1996; Russnetty, 2000; Munir *et al.*, 2004). Untuk memanfaatkan lahan rawa tersebut, diperlukan teknologi yang dapat menghadapi permasalahan serius cekaman lingkungan seperti kadar garam tinggi. Masalah serius tersebut akibat oleh keracunan Na⁺ yang menyebabkan kerusakan sel tanaman (Harjadi dan Yahya, 1988), dan defisit air (Marschner, 1995; Rengel, 2000) yang menyebabkan terhambatnya pertumbuhan. Hambatan pertumbuhan di lahan tersebut meningkat pada kondisi air pasang dan musim kemarau, dan disertai oleh rendahnya kelarutan hara esensial sehingga terjadi kekahatan hara.

Secara agronomi, strategi untuk menanggulangi permasalahan pada lahan marjinal tersebut adalah memanfaatkan tanaman yang toleran terhadap cekaman

^{1*} Penulis untuk korespondensi E-mail: harja65@yahoo.com, HP 08159619241. Jl. Tamansiswa No. 9, Padang 25138

lingkungan (Marschner, 1995; Zheng *et al.*, 1998; Ma, 2000; Utama *et al.*, 2004). Upaya meningkatkan pertumbuhan tanaman dan menetralkan pengaruh buruk Na^+ semakin penting untuk peningkatan pertumbuhan tanaman, khususnya budidaya tanaman padi pada lahan rawa dengan kadar garam tinggi.

Tujuan penelitian ini adalah 1) untuk memperoleh metode yang tepat untuk menentukan varietas padi yang toleran terhadap cekaman garam, dan 2) untuk mempelajari aspek agronomi varietas padi toleran cekaman garam.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di sawah lahan rawa di Desa Pulau Karam, Kecamatan Tarusan, Kabupaten Pesisir Selatan, dan di Laboratorium Kopertis Wilayah X dari bulan Juni sampai September 2007. Dua percobaan dilakukan untuk mempelajari tingkat toleransi varietas terhadap cekaman garam yaitu (1) pada kondisi *in situ* dan (2) pada kondisi cekaman garam yang tidak alami.

Seleksi Varietas Padi Toleran terhadap Cekaman Garam Secara In Situ

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk melihat daya adaptasi beberapa varietas padi terhadap salinitas tinggi secara *in situ* yaitu pada lahan rawa terintrusi air laut di Desa Pulau Karam Kecamatan Tarusan Kabupaten Pesisir Selatan. Varietas padi yang dipergunakan pada percobaan ini berjumlah 18 varietas (14 varietas diperoleh dari Balai Penelitian Padi, dan 4 varietas lokal). Ke 14 varietas padi tersebut adalah: 1). IR 42; 2). IR 64; 3). IR 66; 4). IR 74; 5). Widas; 6). Memberamo; 7). Digul; 8). Cisadane; 9). Ciliwung; 10). Cirata; 11). Celebes; 12). Cisantana; 13). Kalimas; dan 14). Batang Piaman, sedangkan 4 varietas dari lingkungan setempat, yaitu: 1). Ciherang; 2). Batang Lembang; 3). Randah Kuning dan 4). Ketan.

Rancangan percobaan yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap dengan 3 ulangan. Perlakuan percobaan ini adalah 18 varietas padi. Percobaan dilakukan dengan membuat petak percobaan yang berupa guludan berukuran 50 cm x 50 cm setinggi 10 cm dari permukaan air sawah. Ketinggian 10 cm ini dimaksudkan agar saat terjadi pasang air laut maka semakin banyak air laut yang masuk ke sawah rawa. Petak-petak percobaan tersebut masing-masing disebari benih varietas sebanyak 400 butir benih padi yang sebelumnya direndam selama 24 jam. Setelah benih disebar, permukaan guludan ditutup dengan tanah rawa setebal 0.5 cm. Setelah berumur 14 hari, bibit dipindah ke lapangan dan ditanam secara baris.

Pengamatan dilakukan terhadap karakter jumlah anakan (JA), total bobot kering (TBK), bobot kering tajuk (BKT), dan bobot kering akar (BKA) saat tanaman berumur 4 minggu setelah tanam (MST) pada 3 rumpun contoh per petak percobaan.

Penyaringan beberapa varietas padi toleran terhadap cekaman garam

Tujuan dari percobaan ini adalah untuk melihat kesesuaian (kompabilitas) daya adaptasi varietas padi terhadap kadar garam tinggi dalam menentukan varietas toleran. Percobaan ini adalah uji cepat untuk mengetahui tingkat toleransi varietas padi terhadap cekaman garam.

Percobaan penyaringan sederhana ini adalah percobaan faktorial dengan varietas dan kondisi cekaman garam sebagai faktornya, dilakukan dengan rancangan acak lengkap. Faktor pertama adalah 18 varietas padi, sedangkan faktor ke dua adalah kondisi cekaman garam yaitu kondisi lingkungan alami (*in situ* = kontrol) dan kondisi cekaman larutan garam 4000 ppm (perlakuan). Percobaan dilakukan dengan cara menaburkan benih 18 varietas padi, pada media tanah rawa yang mengandung garam dan ditumbuhkan selama 6 MST, kemudian diamati penampilan pertumbuhan vegetatifnya.

Parameter yang diamati, terutama karakter agronomi penting seperti, jumlah anakan (JA), total bobot kering (TBK), rata-rata TBK, bobot kering tajuk (BKT), bobot kering akar (BKA) (Bilman, 2008).

Pengelompokan varietas tanaman padi tergolong toleran atau peka, berdasarkan pada persen pertumbuhan bobot kering akar tanaman, antara kondisi alami (*in situ* = kontrol) dan kondisi perlakuan (tercekam). Tanaman digolongkan toleran apabila pertumbuhan bobot kering akar tanaman mengalami penurunan <50% dibandingkan dengan kontrol, dan tanaman digolongkan peka apabila penurunan pertumbuhan bobot kering tanaman >50% (Utama, 2004).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil observasi selama percobaan diketahui bahwa antara pukul 03.00–06.00 WIB terjadi limpasan air laut melalui aliran sungai yang masuk ke areal sawah lahan rawa. Campuran kedua air yang masuk ke areal sawah lahan rawa ini membawa sejumlah garam di antaranya Na^+ dan Cl^- , hasil analisis terhadap kedua unsur tersebut ternyata sangat tinggi (Tabel 1). Kadar kedua garam tersebut telah mempengaruhi karakter agronomi penting, termasuk pertumbuhan JA yang berbeda.

Tabel 1. Hasil analisis sifat tanah sawah lahan rawa di Desa Pulau Karam, Kecamatan Tarusan, Kabupaten Pesisir Selatan

No.	Uraian	Kandungan
1.	DHL (mmhos/cm)	2.98
2.	pH	4.9
3.	N (%)	712.5
4.	P (ppm)	0.08
5.	Na-dd	12
6.	Cl (ppm)	5.750
7.	NO ₃ ⁻ (ppm)	50

Sumber: Laboratorium Kopertis Wilayah X

Pertumbuhan padi yang ditanam pada sawah lahan rawa memperlihatkan jumlah anakan (JA) yang

beragam (Tabel 2). Keragaman ini mengakibatkan indikator tumbuh lainnya seperti total bobot kering (TBK), bobot kering tajuk (BKT) dan bobot kering akar (BKA) juga beragam. Keragaman ini terjadi akibat tiap varietas memiliki potensi genetik yang berbeda dalam merespon lingkungan tumbuhnya yakni garam-garam terlarut dalam air laut yang bercampur dengan air sungai yang secara berkala masuk ke sawah lahan rawa. Tabel 2 memperlihatkan angka jumlah anakan dan indikator lainnya yang terjadi pada kondisi alami di lapangan, semua peubah yang diamati tersebut keragaannya lebih baik dibandingkan dengan JA dan indikator tumbuh lainnya yang diamati pada tanaman yang tumbuh dalam kondisi cekaman larutan garam NaCl 4000 ppm (Tabel 3).

Tabel 2. Karakter agronomi 18 varietas padi pada sawah lahan rawa secara *in situ* di Pulau Karam, Tarusan, Pesisir Selatan

No.	Varietas	Jumlah anakan (JA) (Batang)	Total bobot kering (TBK) (g)	Rataan TBK	Bobot kering tajuk (BKT) (g)	Bobot kering akar (BKA) (g)
1.	IR42	29 a	63.62 a	2.19	1.68 a	0.51 b
2.	IR64	19 a	17.50 e	0.92	0.26 d	0.66 b
3.	IR66	23 a	26.04 c	1.13	0.53 c	0.60 b
4.	IR74	16 b	29.51 c	1.55	0.83 b	1.02 a
5.	Widas	20 a	24.57 c	1.23	0.43 d	0.80 a
6.	Memberamo	13 c	19.72 e	1.52	0.65 c	0.87 a
7.	Digul	20 a	37.09 c	1.86	101 a	0.85 a
8.	Cisadane	22 a	21.08 d	0.96	0.50 c	0.46 c
9.	Punggur	16 b	24.30 d	1.52	0.62 c	0.90 a
10.	Cirata	9 c	8.62 f	0.96	0.65 c	031 c
11.	Celebes	19 a	22.86 d	1.20	0.35 d	0.85 a
12.	Cisantana	24 a	39.35 c	1.64	0.77 b	0.87 a
13.	Kalimas	16 b	15.47 e	1.06	0.69 b	0.37 c
14.	Banyuasin	18 b	19.67 e	1.09	0.59 c	0.60 b
15.	Btg. piaman	26 a	42.21 b	1.62	0.66 b	0.97 a
16.	Btg. lembang	13 c	22.91 d	1.77	0.74 b	1.03 a
17.	Ketan	14 c	14.00 e	1.97	0.94 a	1.03 a
18.	Randah kuning	11 c	17.93 e	1.63	0.76 b	0.87 a

Angka dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut DMRT 5%.

Tabel 3. Beberapa karakter agronomi pada kondisi tercekam (perlakuan) dan bobot kering akar 18 varietas padi sawah pada kondisi alami pada dengan cekaman garam di Pulau Karam Tarusan, Pesisir Selatan.

N0	Varietas	Jumlah anakan (JA) (Batang)	Total bobot kering (TBK) (g)	Rataan TBK (g)	Bobot kering tajuk (BKT) (g)	Bobot kering akar (BKA) ^a (g)	Bobot kering akar (BKA) ^b (g)	Peningkatan/ penurunan BKA (%)
1.	IR42	5 b	6.9 c	1.39 b	0.79 b	0.60 c	0.51 b	+ 18
2.	IR64	12 a	17.9 b	1.48 b	0.76 b	0.72 b	0.66 b	+ 9
3.	IR66	12 a	8.1 c	0.73 c	0.47 c	0.26 d	0.60 b	- 57
4.	IR74	15 a	18.8 b	1.26 b	0.77 b	0.49 d	1.02 a	- 52
5.	Widas	11 a	22.8 b	2.07 a	1.05 a	1.02 a	0.80 a	+ 28
6.	Memberamo	8 b	5.3 c	0.66 c	0.35 c	0.31 d	0.87 a	- 64
7.	Digul	5 b	9.4 c	1.88 b	1.12 a	0.76 b	0.85 a	- 11
8.	Cisadane	10 a	21.6 b	2.15 a	1.10 a	1.05 a	0.46 c	+ 128
9.	Punggur	8 b	16.7 b	2.08 a	1.13 a	0.95 a	0.90 a	+ 6
10.	Cirata	8 b	22.7 b	2.83 a	1.95 a	0.88 b	0.31 c	+ 184
11.	Celebes	10 a	20.3 b	2.05 a	1.42 a	0.63 b	0.85 a	- 26
12.	Cisantana	10 a	20.6 b	2.06 a	1.18 a	0.88 b	0.87 a	+ 1
13.	Kalimas	14 a	8.1 c	0.58 c	0.24 c	0.34 c	0.37 c	- 8
14.	Banyuasin	1 c	1.8 d	1.77 b	1.09 a	0.66 c	0.60 b	Pengecualian
15.	Batang Piaman	12 a	17.8 b	1.48 b	0.80 b	0.68 c	0.97 a	- 30
16.	Batang Lembang	12 a	40.5 a	3.37 a	1.49 a	1.88 a	1.03 a	+ 83
17.	Ketan Lokal	10 a	21.2 b	2.11 a	1.12 a	1.00 a	1.03 a	- 3
18.	Randah Kuning	15 a	32.2 a	2.14 a	1.05 a	1.09 a	0.87 a	+ 25

Angka dalam satu kolom diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut DMRT 5%.

BKA^a= bobot kering akar pada kondisi perlakuan (*tercekam*)

BKA^b= bobot kering akar pada kondisi lingkungan alami (*in situ = kontrol*)

Menurut Rengel (2000) bahwa tanaman yang mengalami keracunan garam dapat dikenali dengan berkurangnya jumlah anakan yang terbentuk. Hal yang sama juga dikemukakan oleh Harjadi dan Yahya (1988); Marschner (1995) bahwa keracunan Na⁺ menyebabkan terjadinya kerusakan sel tanaman yang menyebabkan terhambatnya pertumbuhan tanaman. Kondisi ini terlihat pada varietas padi yang diberi perlakuan cekaman garam NaCl 4000 ppm (Tabel 3).

Jumlah bibit yang ditanam pada kondisi alami dalam pengujian ini adalah 2 bibit per lubang tanam, maka jika pada umur 4 MST didapati kisaran JA 9–29 berarti tiap bibit menghasilkan 4.5-19.5 anakan. Jumlah anakan terendah terjadi pada varietas Cirata sedangkan JA tertinggi pada varietas IR42 (Tabel 2). Pada perlakuan cekaman 4000 ppm garam NaCl JA varietas padi yang diperoleh antara 5–15, kecuali pada varietas Banyuasin. Data tadi membuktikan bahwa telah terjadi selisih JA antara 4–15 tunas per rumpun. Secara agronomis hal tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi

gangguan pertumbuhan terutama pada varietas peka akibat perlakuan NaCl yang tinggi.

Gangguan pertumbuhan JA terjadi karena tingginya daya hantar listrik (DHL) tanah sawah lahan rawa, yaitu 2.98 mmhos/cm. Menurut Marschner (1995), dengan nilai DHL antara 2-4 akan menyebabkan terjadi gangguan pertumbuhan pada tanaman, terutama pada varietas peka, demikian juga dengan kandungan Cl⁻ sebesar 5.750 ppm (Tabel 1) karena terjadinya keracunan. Unsur Cl⁻ merupakan hara mikro yang diperlukan dalam jumlah sedikit, yang diperlukan untuk kegiatan fotosintesis yang berhubungan dengan produksi oksigen (Marschner, 1995; Rengel, 2000). Untuk menentukan varietas padi toleran dan peka, menggunakan rasio BKA antara BKA tercekam (perlakuan) dengan BKA alami (*in situ*) (Utama, 2004).

Berdasarkan rasio BKA pada perlakuan NaCl 4000 ppm dengan kondisi alami (kontrol) diperoleh tiga kelompok varietas padi yakni varietas padi sangat toleran, toleran dan peka, kecuali varietas Banyuasin

yang memperlihatkan pertumbuhan JA yang sangat berbeda (Tabel 3).

Tabel 3 memperlihatkan adanya varietas padi yang mempunyai peningkatan BKA pada kondisi tercekam, hal ini diduga sebagai bentuk adaptasi tanaman untuk mempertahankan pertumbuhannya tanaman dengan lebih banyak menggunakan energi untuk pertumbuhan akar dibandingkan energi untuk pertumbuhan tajuk (Marschner, 1995; Rengel, 2000; Utama, 2004). Hal ini terlihat pada varietas Cisadane (+128%), Cirata (+184%) dan Batang Lembang (+83%) dimana terjadi peningkatan bobot kering akar yang sangat mencolok dibandingkan dengan 15 varietas lainnya, varietas tersebut dikelompokkan sebagai varietas yang sangat toleran terhadap cekaman salinitas. Sedangkan pada varietas Cisantana (+1%), Punggur (+6%), IR64 (+9%), IR42 (+18%), Randah Kuning (+25%), dan Widas (+28%) digolongkan sebagai varietas toleran (moderat). Hasil penelitian Haryoko (2006; 2007) dan yang mengoleksi dan menanam beberapa varietas padi pada sawah lahan gambut salin juga mendapatkan varietas IR42, IR66 dan Randah Kuning sebagai varietas padi toleran.

Selain itu, pada Tabel 3 memperlihatkan adanya varietas padi yang mengalami penurunan BKA kurang dari 50% dibandingkan BKA alami (kontrol), varietas tersebut adalah Ketan Lokal (-3%), Kalimas (-8%), Digul (-11%), Celebes (-26%) dan Batang Piaman (-30%), sedangkan varietas IR74 (-52%), IR66 (-57%) dan Memberamo (-64%) memperlihatkan penurunan BKA lebih dari 50% dibandingkan kontrol. Varietas padi yang memperlihatkan peningkatan BKA mengalami penurunan pertumbuhan JA, kecuali pada varietas lokal Randah Kuning yang menghasilkan peningkatan JA dan TBK lebih besar dibandingkan dengan kontrolnya (Tabel 2 dan 3).

Tanaman yang toleran terhadap cekaman lingkungan mempunyai kemampuan untuk beradaptasi secara morfologi dan fisiologi (Marschner, 1995; Pellet *et al.*, 1995; Cardenas *et al.*, 2000; Ma, 2000; Utama, 2008). Salah satu metode yang sering digunakan untuk melihat toleransi tanaman terhadap cekaman lingkungan adalah dengan melihat pertumbuhan perakaran tanaman (Delhaize dan Ryan, 1995; Kochian, 1995; Ma *et al.*, 2000; Sopandie *et al.*, 2000; Utama, 2004).

KESIMPULAN

Metode seleksi penentuan varietas padi toleran dan peka terhadap cekaman garam dapat menggunakan perbandingan bobot kering akar antara kondisi tercekam dengan kondisi tidak tercekam (alami), secara agronomi tanaman toleran cekaman garam memperlihatkan pertumbuhan karakter agronomi yang lebih baik.

Informasi tentang karakter agronomi khususnya bobot kering akar dapat dipergunakan untuk menentukan

varietas padi toleran terhadap cekaman garam, khususnya untuk pengembangan padi sawah rawa di Pesisir Selatan, dan varietas padi toleran salinitas yang dianjurkan untuk budidaya di lahan sawah rawa terintrusi air laut khususnya di Kabupaten Pesisir Selatan Sumbar, berturut-turut adalah varietas Cirata, Cisadane, Batang Lembang, Widas, Randah Kuning, IR 42, IR 64, Punggur dan Cisantana.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sampaikan kepada DP2M, DIKTI, yang telah berkenan membiayai penelitian Fundamental ini berdasarkan, DIPA Nomor: 0145.0/023-04.0/-/2007, tanggal 31 Desember 2006, surat perjanjian pelaksanaan penelitian Nomor: 233/SP2H/PP/DP2M/III/2007, tanggal 29 Maret 2007. Ucapan yang sama juga disampaikan kepada mahasiswa kami yaitu, Sdr. Ibrahim yang telah banyak membantu kegiatan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2004. Survey pertanian, luas lahan menurut penggunaannya di Sumatera Barat, BPS. Sumbar. Padang.
- Amang, B., M.H. Sawit. 1999. Kebijakan Beras dan Pangan Nasional, Pelajaran dari Orde Baru dan Era Reformasi. IPB, Bogor.
- Bilman, W.S. 2008. Modifikasi lingkungan melalui sistem penanaman serta penambahan bahan organik dan zat pengatur tumbuh dalam upaya peningkatan produktifitas padi gogo (*Oryza sativa* L.). Disertasi. PPS Unand. Padang.
- Cardenas, L., T.L. Holdaway-Clarke, F. Sanchez, C. Quinto, J.A. Feijo, J.G. Kunkel, P.K. Hepler. 2000. Ion changes in legume root hairs responding to nod factors. *Plant Physiol.* 123:443-451.
- Delhaize, E., P.R. Ryan. 1995. Aluminum toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiol.* 107:315-321.
- Djafar, Z.R. 2002. Pengembangan dan pengelolaan lahan rawa untuk ketahanan pangan yang berkelanjutan. Pelatihan Nasional Manajemen Daerah Rawa untuk Pembangunan Berkelanjutan. Palembang, April 2002.
- Harjadi, S.S., S. Yahya. 1988. Fisiologi Stress Lingkungan. PAU Bioteknologi, IPB Bogor.

- Haryoko, W. 2006. Eksplorasi Padi yang Dibudidayakan pada Lahan Gambut di Kenagarian Ketaping, Kecamatan Lembah Anai, Kabupaten Padang Pariaman.
- _____. 2007. Pengaruh umur bibit terhadap pertumbuhan dan produksi padi pada sawah gambut. Laporan Penelitian LP3M Universitas Tamansiswa Padang.
- IRRI. 1995. Modeling the Impact of Climate Change on Rice Production in Asia. International Rice Research Instituted Filippina.
- Jentschke, G., D.L. Godbold. 2000. Metal toxicity and ectomycorrhizas. *Physiologia Planta*. 109:107-116.
- Kochian, L.V. 1995. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 46:237-260.
- Ma, J.F. 2000. Role of organic acids in detoxification of aluminum in higher plants. *Plant cell physiol.* 41(4):383-390.
- Ma, J.F., S. Taketa., Z.M. Yang. 2000. Aluminum tolerance genes on the short arm of chromosome 3R are linked to organic acid release in tricale. *Plant Physiol.* 122:687-694.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants, Sec. Edition. Acad. Press.
- Munir, R., S. Abdullah, Maizir. 2004. Formulasi alternatif teknik produksi padi pada usaha tani padi sawah. *Jur. Stigma XII* (2):196-200.
- Pellet, D. M., D.L. Grunes, L.V. Kochian. 1995. Organic acid exudation as an aluminum-tolerance mechanism in maize (*Zea mays* L.). *Planta* 196:788-795.
- Rengel, Z. 2000. Mineral Nutrition of Crops, Fundamental Mechanisms and Implications. Food Production Press, Binghamton.
- Rusnetty. 2000. Potensi dan masalah dalam memanfaatkan lahan gambut untuk pertanian. Karya Ilmiah. Faperta Unitas, Padang.
- Sabiham.S., Ismangun. 1996. Potensi dan kendala pengembangan gambut untuk pertanian. Makalah kongres VI Peragi. Jakarta.
- Sunadi. 2008. Modifikasi paket teknologi (The System of Rice Intensification) SRI untuk meningkatkan hasil padi sawah (*Oryza sativa* L.). Disertasi. PPS Unand. Padang.
- Sopandie, D., M. Yusuf, S. Aisah. 2000. Toleransi terhadap Al pada akar kedelai: Deteksi visual penetrasi Al dengan metode pewarnaan hematoksilin. *Comm.Ag.* 6(1):25-32.
- Utama, M.Z.H. 2004. Tanggap beberapa spesies legum penutup tanah terhadap pemberian mikoriza, rhizobium, asam humat dan mekanisme fisiologi toleransi terhadap cekaman aluminium. Disertasi. Sekolah Pascasarjana. IPB. Bogor.
- Utama, M.Z.H. 2008. Mekanisme fisiologi toleransi cekaman aluminium pada spesies legum penutup tanah terhadap metabolisme Nitrat (NO_3^-), Amonium (NH_4^+), dan Nitrit (NO_2^-). *Buletin Agronomi* 36 (2): 175-179.
- Utama, M.Z.H., Y.M. Zen, W. Haryoko. 2004. Mekanisme fisiologi toleransi terhadap cekaman Al pada spesies legum penutup tanah. *Jur. Stigma XII* (2):186-191.
- Yayock, J.Y., G. Lombin, J.J. Owonuhi. 1997. Crop Science and production in warm climates. Mac Millan Intermediate Agriculture series. General of ochapa in Ozomi.
- Zheng, S.J., J.F. Ma, H. Matsumoto. 1998. High aluminum resistance in buckwheat. Al-induced specific secretion of oxalic acid from root tips. *Plant Physiol.* 117:745-751.